汶川8.0级地震北川县城震害原因分析*

姜纪沂[1]，迟宝明[1,2]，谷洪彪[1]，宋 洋[1]

（1. 防灾科技学院，河北 三河 065201；2. 中国地震局工程力学研究所，哈尔滨 150080）

摘要：汶川 M_S8.0 地震中，处于映秀—北川断裂带上的北川县城区地震烈度达Ⅺ度。地震断层活动在地表形成了3条破裂带，城区地表破裂带占总面积的比例超过6.5%，使建筑物遭受严重破坏，并引发了滑坡与崩塌灾害，加剧了震害损失。各种成灾机制之间存在相互耦合现象，不良地质现象发育是导致北川县城区震害程度极为严重的主要原因。

关键词：汶川 M_S8.0 地震；地震断层；地表破裂；震害效应；北川县城

中图分类号：P315.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000－0666(2009)04－0382－05

0 前言

汶川 M_S8.0 地震是一次影响范围广、地震烈度高、破坏强度大、次生灾害重的历史罕见地震。极震区北川县城处于龙门山断裂带中央主破裂带上，地震烈度达到Ⅺ度，强烈的地面振动破坏效应引发了严重的地质灾害，使其成为汶川地震中房屋建筑与基础设施受损最严重、人员伤亡最惨重的地区之一（邓志辉等，2008）。

地表破裂带的分布特征是研究块体运动学特征、变形特征、地震发生机制等科学问题的重要约束条件（李海兵等，2008；谢阳等，2001）。地震发生后，通过“中国地震局汶川地震科学考察”，广大地震工作者对龙门山断裂带有了更深入的认识，也初步认识到地震地表破裂带的宏观分布与地震烈度的关系。目前，人们对某一具体地区的地震断层活动特性对地面破坏效应的控制作用尚不十分明确，有待进一步深入探讨。针对上述问题，笔者以北川县城区建筑物破坏特征、次生地质灾害与地表破裂带的分布特征为基础，系统分析了北川县城区震害极为严重的原因，以期为震害效应机理分析提供依据。

1 北川县城地质构造条件

汶川 M_S8.0 地震发生在位于南北地震构造带中段、青藏高原东缘的北东向龙门山断裂带上。形成于晚侏罗纪的龙门山前陆盆地位于扬子板块西缘，青藏高原向东挤压使山盆接触带应力不断累积，龙门山断裂带中段及其下方滑脱带的突然运动使应力集中释放（董树文等，2008），沿龙门山构造带（余团，何昌荣，2000）中央断裂形成了长度约240 km的地震地表破裂带，产生了1～3 m不等的同震垂直位移，最大同震位移达到6.2 m（徐锡伟等，2008）。地震断裂带的地表破裂带展布和同震位移具有明显的逆冲断层特征，在北段表现出逆冲右旋特征（李传友等，2008；郑文俊等，2008）。

北川县城处在侵蚀构造中山的东南边缘，处在前龙门山褶皱带与后龙门山褶皱带（李海兵，杨经绥，2004）的界线上，山脉走向为NE。龙门山构造带中央断裂走向NE45°，倾向NW，断面倾角60°～70°。处在中段的映秀—北川断裂带走向NE35°～45°，是由多条次级逆冲断层组合而成的叠瓦状构造，寒武系逆冲于志留系、泥盆系乃至石炭系之上（邓起东等，1994；李勇等，2006）。

北川县城位于映秀—北川断裂带上，汶川地震中，断裂活动形成了连续的地表破裂带，对城区地面破坏效应起控制作用，造成了地表建筑物的严重破坏，同时还引发了多处大型滑坡和崩塌，给北川县城带来了毁灭性的破坏。

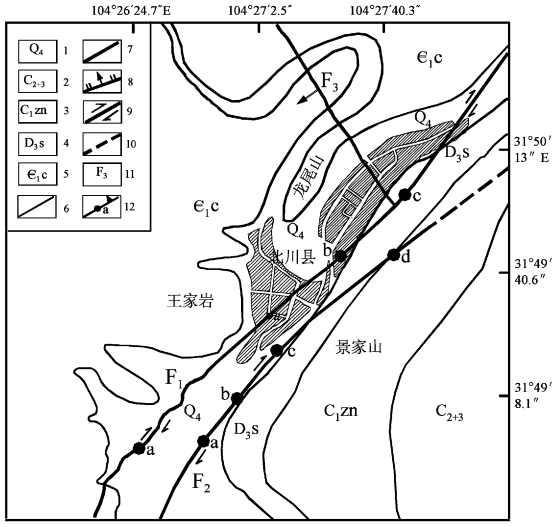
2 北川县城地震地表破裂特征

地面破坏调查显示，映秀—北川断裂带活动在北川县城形成3条地表破裂带，两条近平行的走向为NE30°～55°主破裂带 F_1、F_2 和一条走向

* **收稿日期**：2009－04－10.
基金项目：汶川8.0级地震科学考察项目资助.

NW310°～NW330°的破裂带 F_3（图 1）。地表破裂带均发生了不同程度、不同方式的水平与垂直相对位移，在地表形成了连续的地表变形以及切过现代河床、河漫滩、河堤、公路、建筑物、排水渠、山体等的地形陡坎。

F_1 破裂带从北川县城南西 1.5 km 处魏家沟，向北东经北川中学、北川老城区、北川大酒店、曲山小学，沿景家山东侧山脚延伸出北川县城区（图 2）。在该破裂带上，寒武系下统清平组（$\in_1^c$）与泥盆系上统沙窝子组（D_3^s）两组地层呈断层接触关系。地表破裂带所经之处路面错断或隆起，上盘建筑地基抬高，房屋毁坏，地表出现大量裂缝且有右旋错动现象，同震垂直位移量 3～4 m，水平位移量 1～3 m（图 2a）。在北川大酒店附近湔江河一级阶地上堆积的砾石层和褐红色杂填土发生褶皱弯曲，形成高 3.2 m 的褶皱陡坎，马路水泥路面脆性破裂，中心线右旋错动 2.5 m（图 2b）。在曲山小学后山，断层活动在山体基岩上形成了走向为 55°的正断层错断面，倾角 60°～80°，局部断层面近直立。下盘断层面上近于水平的擦痕向西倾伏角约 25°，反映出该点断层活动方式以右旋走滑为主，兼有北西盘抬升、东南盘下降的正断倾滑分量，垂直位移 1.7 m，右旋走滑分量 3.7 m（图 2c、2d）。



1. 第四系全新统；2. 石炭系中上统灰岩夹硅质团块；3. 石炭系下统总长沟组灰白色厚层灰岩；4. 泥盆系上统沙窝子组灰白色白云岩、白云质灰岩；5. 寒武系下统清平组细砂岩、砂页岩；6. 地层界线；7. 逆冲地表破裂；8. 正断层；9. 走滑地表破裂；10. 推测地表破裂；11. 地表破裂带编号；12. 地表破裂带调查点编号

图 1　北川县城地表破裂带分布

Fig. 1　Distribution of surface rupture zones in Beichuan county

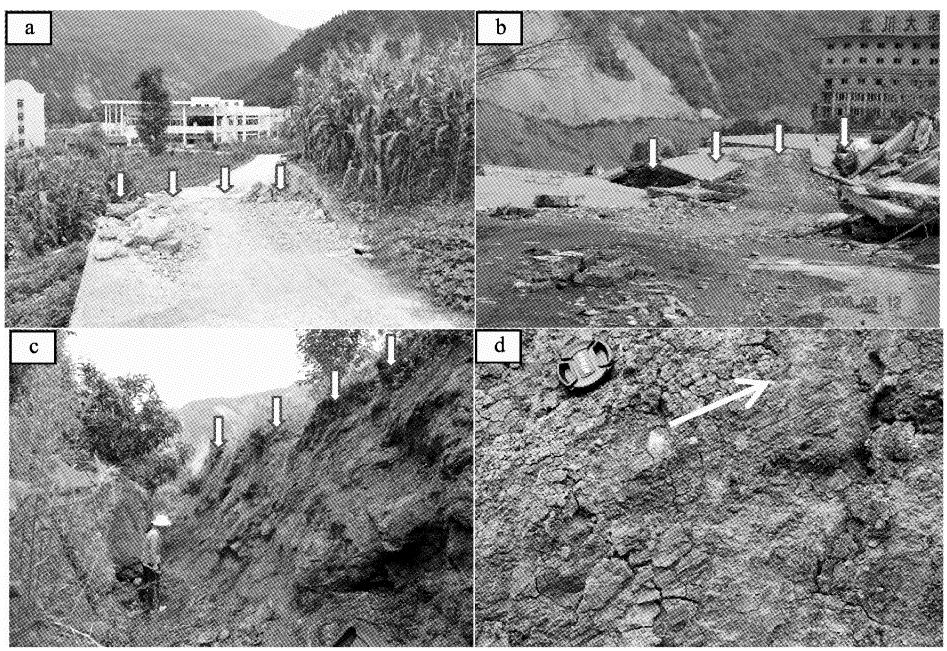


图 2　F_1 地表破裂带断层陡坎基本类型示意图

(a)北川中学西侧(镜向 SE)；(b)北川大酒店南侧(镜向 NW)；(c)曲山小学后山(镜向 SW)；(d)c 处断层擦痕(镜向 NW)

Fig. 2　Fault－scarp features of surface rupture zone F_1

(a)The west of Beichuan Middle School(view to SE)；(b)The south of Beichuan Hotel(view to NW)；(c)Hill behind Qushan primary School(view to SW)；(d)Fault scratches of point No. c(view to NW)

F_2 破裂带从北川县城南 1 km 仁家坪，经城南排水渠、景家山盘山公路一直延伸至景家山（图 3）。在仁家坪一带，公路被地震断层断错，形成走向 20°、西高东低高约 3 m 的断层陡坎（图 3a）。城南排水渠挤压推覆引起北西侧隆升，渠底水泥板受压翘起（图 3b）。F_2 断裂穿过景家山崩塌，在崩塌后壁可见擦痕（图 3d），说明断层面沿崩塌体后缘穿过，景家山高陡岩体边坡切断，崩塌体沿着断面高速下滑，形成大规模崩塌，还在断面上留下擦痕。景家山崩塌体后缘断层面倾向 350°，倾角 60°～70°。在崩塌后壁还存在早期断裂活动形成的断层角砾岩。

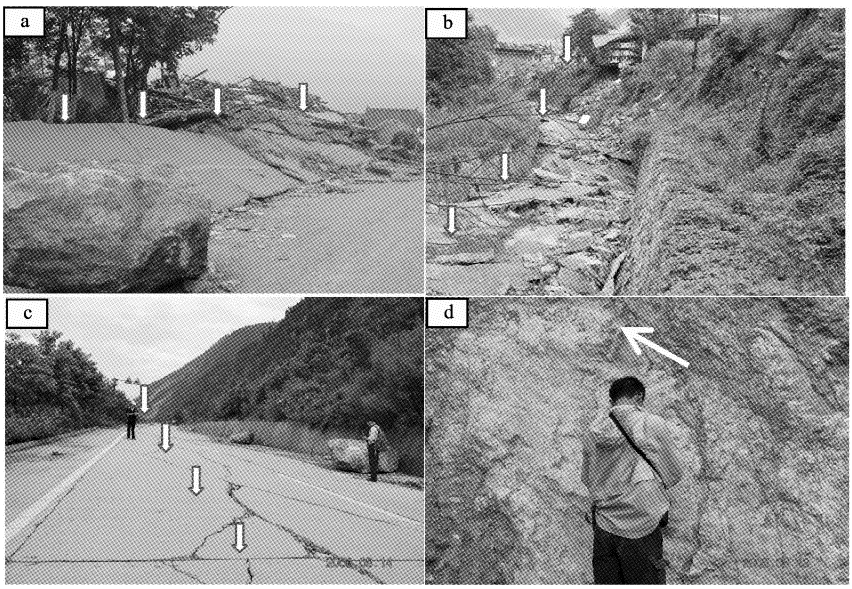


图 3 F_2 地表破裂带断层陡坎基本类型示意图

（a）城南任家坪（镜向 N）；（b）城南排水渠（镜向 N）；（c）景家山盘山公路（镜向 N）；（d）景家山崩塌体后壁断层擦痕（镜向 E）

Fig. 3 Fault-scarp features of surface rupture zone F_2

（a）Ren Jiaping to south of Beichuan county（view to North）；（b）Drainage ditch in south of Beichuan county（view to North）；（c）Road around Jingjia Mountain（view to North）；（d）Fault scratches on back-wall of Jingjia mountain slide（view to East）

城区北部发育断裂 F_3 形成的地表破裂带宽度为 5～15 m（图 4），经北川县职业中学（其操场中间拱起），在夏禹大桥桥洞处错动岩层，同震垂直位移量为 0.5～2 m。此断裂的南西盘相对抬升、北东盘相对下降，涧江河上夏禹大桥桥面拱起，并与桥墩脱离，呈右旋 40°方向甩出。

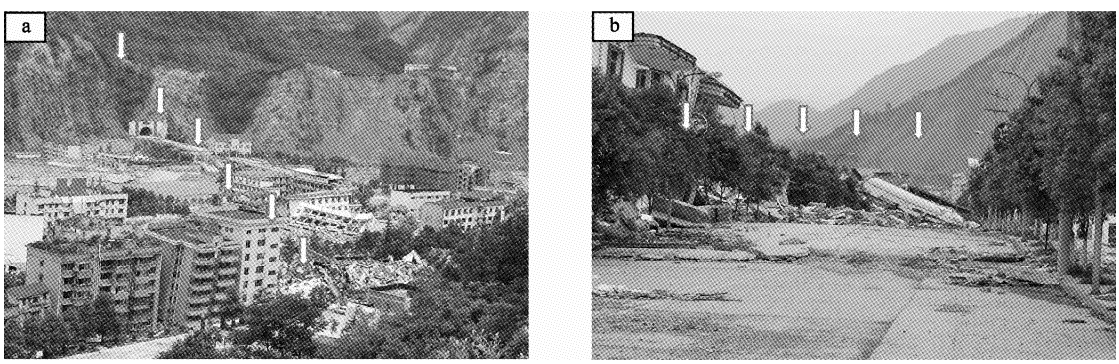


图 4 F_3 地表破裂带断层陡坎分布图（垂直箭头指示陡坎位置）

（a）断层陡坎延伸方向（镜向 N）；（b）北川职业中学处断层陡坎特征（镜向 SW）

Fig. 4 Distribution features of surface rupture fault-scarp F_3

（a）The extension direction of fault scarp（view to North）；（b）The characteristics of fault scarp in Beichuan vocational school（view to SW）

3　北川县城震害原因分析

3.1　地震断层活动对次生地质灾害的诱发作用

汶川大地震中，斜坡变形破坏灾害主要分布于龙门山断裂带两侧，地震断层活动是极震区地震地质灾害的主要诱因。经过实地调查，北川县城区周边山体 NE 向斜坡地段共发生了 2 处大型滑坡和 17 处崩塌（姜纪沂等，2009），其中王家岩大型滑坡和景家山崩塌分别给北川县新、老城区带来毁灭性破坏，很多建筑物被滑坡的土体和崩塌的碎石砸倒、掩埋或推覆（图 5）。

北川县城区周边地形起伏大，岩石经强烈的内外动力地质作用后表面极为破碎，且映秀－北川断裂带的分支断层延伸至两侧山体，斜坡岩体完整性差，裂隙密集发育。断层活动使岩体出现连续的剪切滑动面，地震导致的强烈地面振动效应使滑坡体、崩塌体及地表碎屑物失去力学平衡，从而触发了大规模的斜坡破坏类地质灾害。北川县城的 2 处滑坡灾害均为高速滑坡，滑动距离大，爆发力强，滑体主要为碎块石夹土（寒武系清平组细砂岩、砂页岩风化物），主要发生于王家岩和城区北侧。崩塌灾害同样为地震触发型，主要发生在景家山天然陡坡段，沿地表破裂带 F_2 分布（图 5）。

图 5　汶川 M_S8.0 地震北川县城区震害状况

Fig. 5　Damage state of Beichuan county urban region in M_S8.0 Wenchuan Earthquake

3.2　地震断层对建筑物破坏形式的控制作用

通过对城区建筑物及其结构破坏特征的调查发现城区建筑物约有 80% 遭受破坏。除了景家山崩塌和王家岩滑坡造成局部大量建筑物被砸倒、掩埋或推覆外，破坏最为严重的是同震地表破裂带直接通过的条带状区域。断层活动产生的地表破裂（水平位移和垂直位移）直接造成了建筑物破坏（张建毅等，2009）。

北川县城属于地震近场区域，此次地震又为“城市直下型”地震。所以建筑物遭受破坏的主要原因有二：其一，城区未完全倒塌的建筑物中约有 40% 的建筑物出现底层跨塌的破坏形式，可见地震过程中地面运动的水平与竖直峰值加速度很大；其二，断裂活动导致地表产生大规模的地表破裂带，造成了建筑物地基的严重破坏，使建筑物开裂或跨塌。从城区地表破裂带延伸的长度和宽度统计，地表破裂带面积占城区面积比例不小于 6.5%，对位于地表破裂带两侧 50～80 m 范围内的建筑物破坏影响较大。

4　主要结论

（1）北川县城处于映秀—北川断裂带，地震断层活动主要形成 3 个地表破裂带。两条走向为 NE30°～55°的逆冲右旋型破裂带在城区延伸 2 km，相距 200～500 m。另一条地表破裂带为 NW310°～330°走向的正断型断裂，在城区延伸 1 km。地表破裂带面积占城区面积的 6.5% 以上。

（2）地表破裂带均发生了不同程度、不同方式的同震相对位移。映秀—北川断裂带主断裂北西盘沿倾角 60°～80°的逆断层面向北东逆冲而上，垂直位移量 3～4 m，水平位移量 1～2 m，导致破裂带两侧建筑物出现地基破坏效应而破坏或跨塌。

（3）映秀—北川断裂带活动产生的连续地表破裂带使岩体内出现连续的剪切滑动面，强烈的振动破坏效应使滑坡体、崩塌体及地表碎屑物失去力学平衡，是诱发北川县城区两侧山体发生滑坡与崩塌灾害的主要因素。

（4）映秀—北川断裂带产生的地表破裂带与地震次生地质灾害相互叠加，场地效应和地基失效等成灾机制之间相互耦合，而不良地质现象发育是导致北川县城区震害极为严重的主要原因。

向参加中国地震局汶川地震科学考察北川县场地条件调查的防灾科技学院教师王根龙、卢滔、关会梅、黄静宜、于晓辉等人表示感谢！

参考文献：

邓起东，陈社发，赵小麟. 1994. 龙门山及其邻区的构造和地震活动及动力学［J］. 地震地质，16（4）：389－403.

邓志辉，杨主恩，孙昭民. 2008. 四川汶川 M_S 8.0 级地震北川—映秀地表破裂的复杂现象［J］. 科学通报，53（20）：2509－2513.

董树文，张岳桥，龙长兴. 2008. 四川汶川 8.0 地震地表破裂构造初步调查与发震背景分析［J］. 地球学报，29（3）：392－396.

姜纪沂，宋洋，谷洪彪，等. 2009. 汶川 M_S8.0 地震地质灾害发育特征及诱发因素分析—以北川县为例［J］. 防灾科技学院学报，11（1）：43－47.

李传友，叶建青，谢富仁，等. 2008. 汶川 M_S8.0 地震地表破裂带北川以北段的基本特征［J］. 地震地质，30（3）：683－696.

李海兵，王宗秀，付小方，等. 2008. 2008 年 5 月 12 日汶川地震（M_S8.0）地表破裂带的分布特征［J］. 中国地质，35（5）：803－813.

李海兵，杨经绥. 2004. 青藏高原北部白垩纪隆升的证据［J］. 地学前缘，11（4）：345－359.

李勇，周荣军，Densmore A L，等. 2006. 青藏高原东缘龙门山晚新生代走滑挤压作用的沉积响应［J］. 沉积学报，24（2）：153－164.

谢阳，常祖峰. 2001. 铲形正断层特征数值模拟及其与地震机制的研究［J］. 地震研究，24（4）：351－357.

徐锡伟，闻学泽，叶建青，等. 2008. 汶川 M_S8.0 地震地表破裂及其发震构造［J］. 地震地质，30（3）：597－629.

余团，何昌荣. 2000. 龙门山构造带区域稳定性探讨［J］. 地震研究，23（4）：378－382.

张建毅，蒋锋，郭晓云，等. 2009. 北川县城地震震害科考调查的几点反思［J］. 防灾科技学院学报，11（1）：48－51.

郑文俊，李传友，王伟涛，等. 2008. 汶川 8.0 级地震陡坎（北川以北段）探槽的记录特征［J］. 地震地质，30（3）：697－709.

Analysis of Damage Reason in Beichuan County of M_S8.0 Wenchuan Earthquake

JIANG Ji-yi[1], CHI Bao-ming[1,2], GU Hong-biao[1], SONG Yang[1]

(1. *Institute of Disaster Prevention Science and Technology*, *Sanhe* 065201, *Hebei*, *China*)

(2. *Institute of Engineering Mechanics*, *CEA*, *Harbin* 150080, *Heilongjiang*, *China*)

Abstract

Fault activity played the controlling role to intensity distribution in M_S8.0 Wenchuan Earthquake. Beichuan County, one of the meizoseismal areas, which is located in the Yingxiu-Beichuan fault zone and its intensity was Ⅺ. The motion of earthquake fault formed three surface rupture zones in the urban of Beichuan County. Square of surface rupture zones occupied more than 6.5% of the urban square. The surface rupture zones made the heavy damage to the urban region. Buildings in Beichuan County suffered the great damage, and the fault activity also induced serious landslides and slides, which aggravated the damage losses. The couple of all kinds of seismic disasters mechanism and the adverse geological phenomenon development were the main reason of the especially severe damage of study area.

Key words: M_S8.0 Wenchuan Earthquake; seismic fault; surface rupture zone; seismic damage effect; Beichuan County